PRESTACIONES TÉRMICAS DE LAS FACHADAS VERDES TRADICIONALES. INCIDENCIA DE LA SELECCIÓN DE LA ESPECIE TREPADORA.

Pablo Suárez (1); M. Alicia Cantón (2); Érica N. Correa (2)
(1) Becario Doctoral CONICET, e-mail: psuarez@mendoza-conicet.gob.ar - https://orcid.org/0000-0002-0032-3278
(2) Investigadora Principal CONICET, e-mail: macanton@conicet-mendoza.gob.ar - https://orcid.org/0000-0002-8714-9697; ecorrea@mendoza-conicet.gob.ar - https://orcid.org/0000-0003-1690-076X
Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE - CCT CONICET Mendoza)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Av. Ruiz Leal s/n. Parque Gral. San Martín. C.P. 5500 – Mendoza

RESUMEN
Se evalúa el comportamiento térmico de tres tipos de Fachadas Verdes Tradicionales (FVT) en contexto de aridez, en la Ciudad de Mendoza, Argentina (latitud 32,89° S). Se desarrolló un ensayo experimental en condiciones controladas para evaluar la respuesta térmica de tres muros de ladrillo, característicos de la construcción tradicional, cubiertos con distintas especies trepadoras perennes, todos orientados al Oeste y aislados al Norte, Sur y Este. Se monitorearon las temperaturas interiores y exteriores en los espacios conexos y las superficies de estos, durante el mes de febrero en verano del año 2022. Los resultados muestran diferencias de temperatura tanto en los espacios conexos interiores y exteriores, como en las superficies de los muros cubiertos con vegetación. Se hallan máximas diferencias de temperatura, por efecto del uso de las distintas especies, en el espacio conexo exterior de hasta 2,7 °C, en la superficie exterior de hasta 7,1 °C, en la superficie interior de hasta 1,2 °C y en el espacio interior conexo de hasta 1,3 °C. Esto muestra que la elección de la planta tiene incidencia en el potencial de efectividad de las FVT, las cuales tienen probada eficiencia para mejorar el comportamiento térmico de los espacios a escala urbana y edilicia.

Palabras clave: Fachadas Verdes Tradicionales, Desempeño Térmico, Clima Árido.

ABSTRACT
The thermal behavior of three types of Traditional Green Facades (TGF) in the context of aridity is evaluated. An experimental test was developed under controlled conditions to evaluate the thermal response of three brick walls, characteristic of traditional construction, covered with different perennial climbing species, all oriented to the West and isolated to the North, South and East. The interior and exterior temperatures in the related spaces and their surfaces were monitored during the month of February in summer of 2022. The results show temperature differences both in the associated interior and exterior spaces, as well as in the surfaces of the walls covered with vegetation. Maximum temperature differences are found, because of the use of the different species, in the outer connected space of up to 2,7 °C, in the outer surface of up to 7,1 °C, in the inner surface of up to 1,2 °C and in the associated interior space of up to 1,3 °C. This shows that the plant choice has an impact on the potential effectiveness of the FVT, which have proven efficiency to improve the thermal behavior of spaces on an urban and building scale.

Keywords: Traditional Green Facades, Thermal Performance, Arid Climate.

1. INTRODUCCIÓN

El problema del cambio climático nace del vínculo generado por la interacción entre la sociedad humana y el entorno natural, con sus características climáticas y ecosistémicas (incluyendo su biodiversidad). Ante este escenario, las ciudades de América Latina y el Caribe, donde un 81% de la población reside en áreas urbanas (OLADE, 2021), presentan una alta vulnerabilidad y riesgo. Para restablecer el equilibro entre entorno natural y hábitat construido, se torna necesario adoptar herramientas que potencien una urbanización sostenible y restauren los ecosistemas degradados. Una de ellas lo constituye la incorporación de "infraestructura verde" a las tramas urbanas, con probados beneficios sociales, económicos y ecológicos para las ciudades.

Diversos estudios han demostrado que la integración y expansión del verde urbano en la ciudad es una estrategia efectiva para aumentar la resiliencia al cambio climático (GILL et al., 2007). Además, las infraestructuras verdes se muestran como elementos versátiles dentro de la arquitectura urbana y son la esencia de las nuevas tendencias en el campo de la arquitectura y del urbanismo, en especial de la arquitectura verde o eco arquitectura (GONZÁLEZ; GONZÁLEZ, 2019). Su incorporación a la ciudad trae aparejado beneficios energético-ambientales, mitiga el efecto de isla de calor y aumenta el confort de los espacios públicos y, a escala edilicia, reduce el consumo de energía para acondicionamiento de los espacios interiores.

Investigaciones recientes vinculadas a los Sistemas de Enverdecimiento Vertical (SEV) han mostrado una tendencia creciente en función de su relevancia a nivel mundial en la última década (BUSTAMI et al., 2018; SUÁREZ et al., 2018). Los resultados varían en su magnitud según el tipo de clima donde se aplican los SEV, pero muestran efectividad para aproximar las temperaturas de los edificios a valores de confort en cualquier estación del año.

Dentro de los SEV, se encuentra la tipología denominada Fachada Verde (FV), Tradicional (FVT) si es adosada al muro y Doble Piel (FVDP) si existe espacio entre esta y el muro, en la cual se adopta una planta del tipo enredadera. Es una tipología de implementación simple, de bajo costo y reducido impacto en la construcción existente. Si bien el desarrollo de conocimiento en relación a esta tipología continúa en crecimiento, diversos estudios demuestran la contribución de la estrategia al acondicionamiento térmico edilicio, asociada al efecto aislante, de sombreo y evapotranspiración de la fachada verde. Para la estación verano, una FVDP puede reducir los consumos de energía de la edificación hasta 33,8% (COMA et al., 2017) en climas del tipo Csa (Templado mediterráneo). Sin embargo, es acotada la exploración científica en torno a la incidencia que tiene la elección de la especie trepadora en sus potenciales beneficios térmicos sobre el ambiente construido y los espacios exteriores mediatos. Kalani et al. (2017) indica que el Índice de Área Foliar (IAF) es el factor más determinante en la elección de distintas especies vegetales para un mayor potencial de la estrategia en términos de ahorro energético.

En el caso de la Ciudad de Mendoza, Argentina, cuyo clima es del tipo árido desértico (BWk - Köppen-Geiger); en sus orígenes fue concebida bajo el modelo del "ciudad oasis". Su concepción urbanística se basa en la presencia de vegetación como estrategia de sombreo, que minimiza la exposición solar del conjunto y mejora la habitabilidad de los espacios al aire libre (STOCCO et al., 2017). Sin embargo, el proceso de crecimiento y densificación urbana no ha sido acompañado por una densificación de los espacios verdes y, además, ha limitado la disponibilidad de vacíos urbanos. En consecuencia, incrementar las áreas verdes implica implementar nuevas tecnologías de vegetación como lo son, entre otras, los SEV. Localmente, la aplicación de tipologías de FVT es espontánea y ampliamente difundida en las áreas residenciales de baja densidad. De modo particular, respecto a la orientación Othman & Sahidin (2016), establecen que este parámetro es importante en climas con altos niveles de irradiancia solar como es el caso del área de estudio. Alexandri & Jones (2008) determinan que la radiación máxima recibida en verano en los planos verticales orientados al este y al oeste es 1,65 veces mayor a la recibida en los planos norte y sur para el caso de Atenas, Grecia, cuya latitud (32º N) es equiparable con la de la ciudad de Mendoza (32º S). De lo descripto se desprende que las FVT generan los mayores impactos en orientaciones este y oeste cuyos planos verticales son los más demandados por la radiación solar.

2. OBJETIVO

Se propone evaluar y comparar la respuesta térmica de tres FVT, conformadas por distintas especies trepadoras, en la envolvente edilicia tradicionalmente utilizada en viviendas del Área Metropolitana de Mendoza, con el objetivo de caracterizar cuantitativamente el impacto de la selección de la especie en las prestaciones térmicas de la estrategia.

3. METODO

3.1. Ensayo experimental

Fue construido un ensayo experimental en condiciones controladas en un área dedicada a tal fin, cuya ubicación es dentro del predio del CCT CONICET, Mendoza, Argentina (ver Fig. 1). El mismo se compone por tres muros de ensayo orientados al Oeste (orientación con mayor demanda térmica en estación verano) destinados a evaluar las diferencias térmicas entre distintas FVT compuestas por las siguientes especies: Jazmín de lluvia (Trachelospermum jasminoides) -MJ-, Bignonia Blanca (Pandorea Jasminoides) -MB- y Hiedra (Hedera helix) -MH-. La selección de especies responde a su adaptabilidad al clima local y se desarrollaron en estructuras independientes para su posterior adosamiento a los muros.

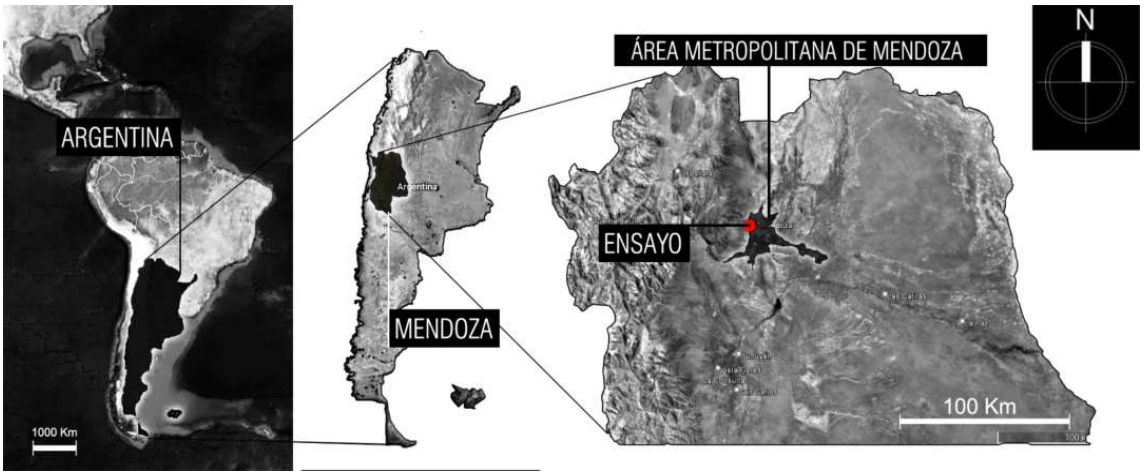


Figura 1 - Ubicación del ensayo experimental. Fuente: elaboración propia.

El sistema de construcción tradicional en Argentina consiste en un sistema húmedo y másico, en este caso, ladrillo cocido, cemento y arena. En el caso específico de la ciudad de Mendoza, emplazada en zona sísmica, el mismo se configura con estructura de hormigón armado y paredes portantes de ladrillo cocido de 17 cm de espesor, eventualmente con revoque en ambas caras. Se adopta esta tecnología, sin revoque, con unas dimensiones de 1,3m de ancho por 2,3m de alto y 0,17m de espesor, enmarcados en columnas y vigas de hormigón armado, para cada muro. Estas dimensiones están en el rango de medidas observadas en modelos experimentales similares llevados a cabo en la literatura internacional (COMA et al., 2017) (VOX et al., 2018). Además, se aplica aislación de 0,05 m de poliestireno expandido de alta densidad, en las caras N, S y E de los muros. Se alberga en esta última orientación una cámara de aire cuyo espesor de 0,10 m. Ver Fig. 2.

3.2. Evaluación térmica de casos de estudio

Con el objetivo de evaluar la incidencia de la selección de especies de FVT, y sus diferencias en el comportamiento térmico de los muros que conforman el ensayo experimental, los mismos se monitorearon durante 3 días del mes de febrero (verano) -07/02/22 al 09/02/22-. Las variables monitoreadas fueron: temperatura, humedad, radiación solar y velocidad de viento en el espacio exterior; temperatura y humedad en el interior de la cámara de aire y temperatura superficial interior y exterior en muros. Los datos se registraron cada 15 minutos. Los sensores utilizados son del tipo termistor y termocupla -HOBO Onset, UX100-003, UX120, U30 USB Weather Station-, colocados a 1,00 m y 1,60 m de altura, con el objetivo de observar posibles variaciones dadas por un crecimiento heterogéneo de las especies. Los mismos fueron calibrados previamente para garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos, y su ubicación se muestra en la Fig. 2.

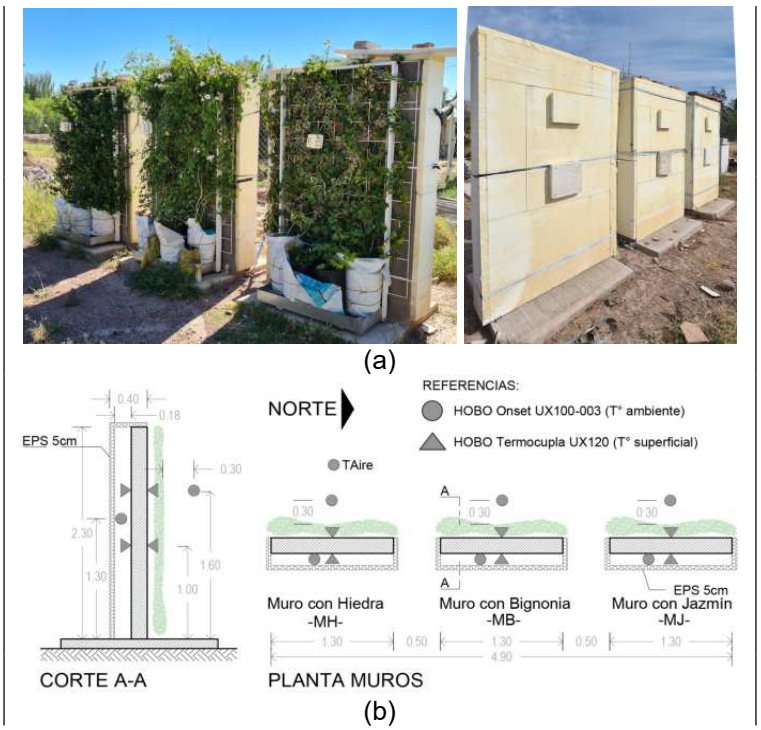


Figura 2 – (a) Imagen de casos de estudio (b) Ubicación de sensores. Fuente: elaboración propia.

3.3. Caracterización de FVT

Con el objetivo de caracterizar las especies vegetales que conforman las FVT, se consideraron dos variables: espesor y cobertura. La toma de datos del espesor fue realizada en ocho puntos equidistantes, a fin de obtener un dato promedio que sea representativo de la especie que integra cada FVT. Ver Fig. 3. A los efectos del análisis de las diferencias térmicas por el uso de distintas FVT, los valores de espesor empleados son los correspondientes al período monitoreado.

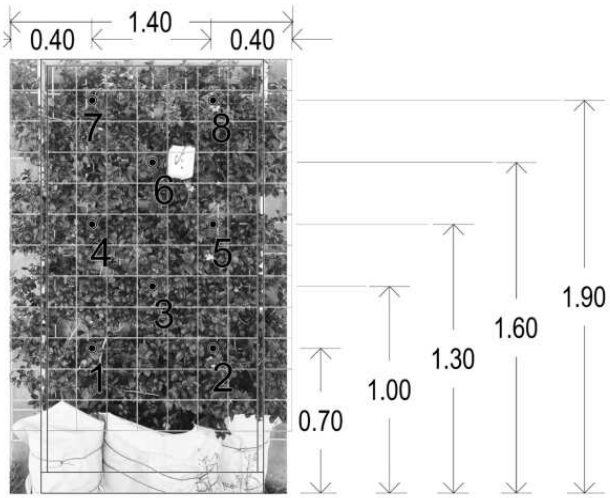


Figura 3 – Puntos de medición espesores. Fuente: elaboración propia.

En el caso de la cobertura vegetal, fue estimada mediante la toma de imágenes fotográficas en los períodos de medición, en horario de mínima radiación solar para evitar distorsiones en la generación de la imagen a procesar. Las mismas fueron procesadas mediante el software MultiSpec a los efectos de determinar la proporción entre vacíos y llenos que representa el grado de cobertura de cada especie que compone las FVT.

3.4. Selección del día de análisis

En verano, la aplicación de Fachadas Verdes Tradicionales muestran mayor eficiencia para el ahorro de energía en edificios cuanto mayor es el efecto de sombreo (PÉREZ et al., 2017). Por este motivo, para la elección del día de análisis en verano, se consideró aquel que representa las condiciones típicas de la estación analizada en un período estable de 3 días. Es decir, muestran valores de temperatura y radiación solar correspondiente a días soleados. Dicho día corresponde al 8 de febrero de 2022 (Fig. 4).

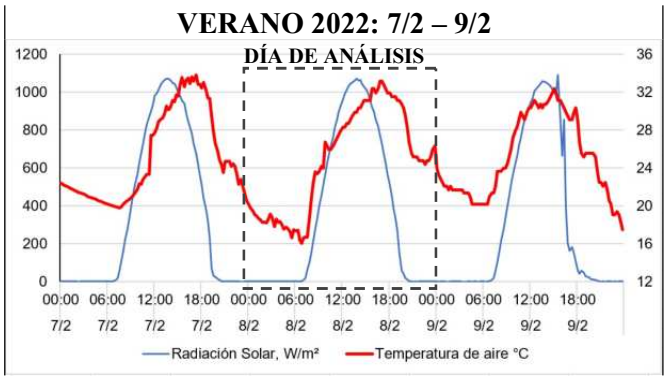


Figura 4 – Temperatura ambiente exterior y radiación solar. Selección de día de análisis. Fuente: elaboración propia.

Con el fin de verificar si el día elegido es representativo de un día típico de verano en el área de estudio, se compararon los datos de temperatura máxima y mínima con los valores del mes de febrero históricos. Según datos de Servicio Meteorológico Nacional de Argentina -estación homologada N° 87418 correspondiente a "Mendoza AERO"-, para febrero la temperatura máxima promedio es de 29 °C (38,2 °C extrema) y la mínima promedio 17,0 °C (7,7 °C extrema). La Tabla 1 muestra los valores registrados en el día de análisis seleccionado.

Tabla 1 - Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica para los días elegidos. Fuente: elaboración propia.

	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Amplitud térmica
Verano 2022: 8 de febrero	33,2	16,0	17,2

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos están asociados a la caracterización de la estructura vegetal y el comportamiento térmico resultante del monitoreo llevado a cabo en el ensayo experimental con el objetivo de analizar comparativamente el desempeño térmico de tres muros cubiertos con FVT -MJ (Jazmín), MB (Bignonia) y MH (Hiedra)-.

4.1. Caracterización de la estructura vegetal

La Fig. 5 muestra los valores de espesor obtenidos en los puntos medidos y el valor promedio durante el período seleccionado. El espesor promedio de MJ es del orden de 0,30 m, el de MB es del orden de 0,27 m y el de MH del orden de 0,12m. Los resultados muestran variaciones de espesor entre especies de 10% entre MB y MJ, y de 60% entre MB y MH. Ver Fig. 5.

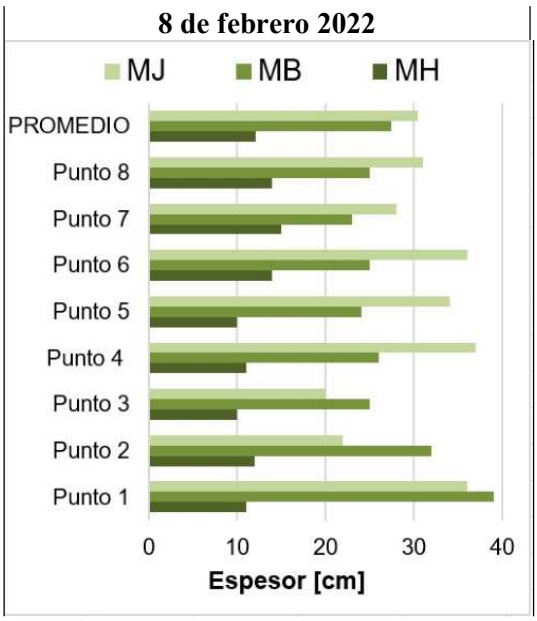


Figura 5 – Espesores por punto y promedio. Fuente: elaboración propia.

El procesamiento de imágenes tomadas durante el ciclo de medición muestra que los índices de cobertura de cada especie son semejantes entre sí. Los porcentajes de cobertura alcanzan valores de 89,0% (Jazmín), 88,0% (Bignonia) y 86,3% (Hiedra). Dadas las mínimas diferencias encontradas en el análisis de esta variable, se considera que la cobertura vegetal, es equivalente en todas las especies. Pero la distribución en el área analizada muestra diferenciación de acuerdo a la especie, como se observa en la Fig. 6.

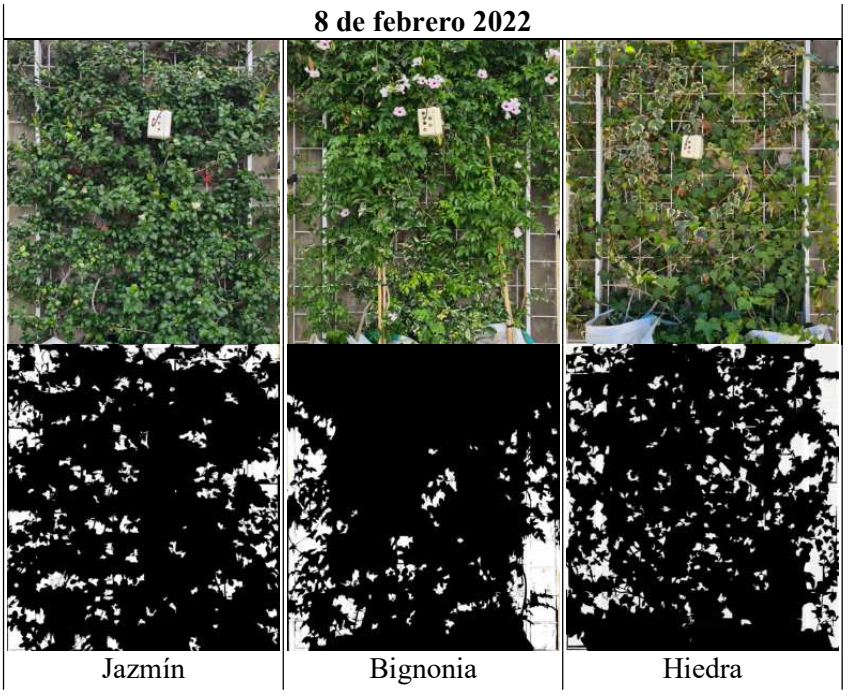


Figura 6 – Resultado del procesamiento de imágenes de cobertura vegetal en ambos períodos de medición. Fuente: elaboración propia.

4.2. Temperatura ambiente exterior mediata

Se compararon los datos obtenidos de temperaturas ambiente exteriores entre muros con FVT, tomados a 0,30 m de follaje y pared respectivamente. Se observa una máxima diferencia de temperatura de 2,7 °C a las 4:45 pm entre MJ y MB respecto a MH. Ver Fig. 7. Esto se produce en el horario de mayor demanda, es decir, cuando la temperatura de aire exterior alcanza su mayor valor -33,2 °C-. Adicionalmente, se sostienen estas diferencias, aunque de menores magnitudes, durante la mayor parte de las horas del día. Este fenómeno

puede deberse a un mayor efecto de evapotranspiración del follaje de las especies MJ y MB, que reduce en mayor medida las temperaturas del aire exterior mediato.

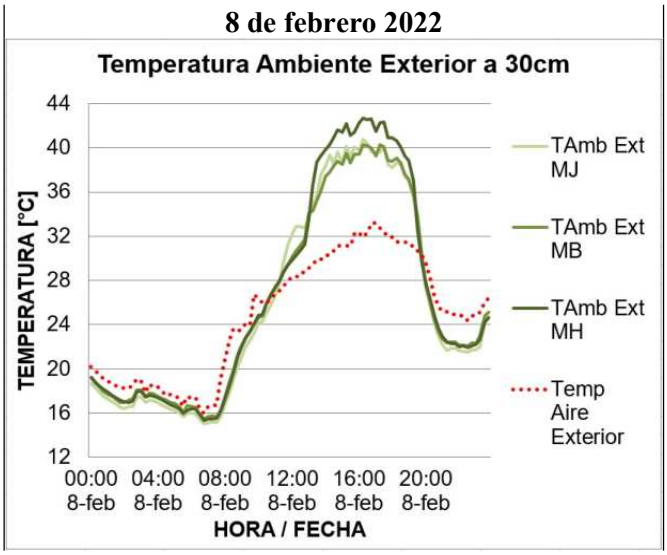


Figura 7 – Diferencial hora a hora de temperatura ambiente exterior mediata. Fuente: elaboración propia.

4.3. Temperatura superficial exterior

Se establecieron comparaciones entre las temperaturas superficiales exteriores de los muros con FVT. Se determina una máxima diferencia de 7,1 °C a las 6:45 pm, dada entre MJ y MH. Ver Fig. 8. Esta máxima diferencia esta dada principalmente por la incidencia de la variable espesor donde, en promedio, MH es un 60% menor respecto a MJ.

A su vez, se registra una máxima diferencia de esta variable de 3,0 °C entre MJ y MB, donde ésta última se encuentra más caliente. Si bien en promedio el espesor de estas dos especies es semejante, existe un escalonamiento más acentuado del espesor medido en los puntos centrales, que es donde se ubica el sensor de temperatura superficial exterior. Esto pone de manifiesto la relevancia que tiene el espesor vegetal en el rendimiento térmico de las FVT para disminuir temperaturas superficiales.

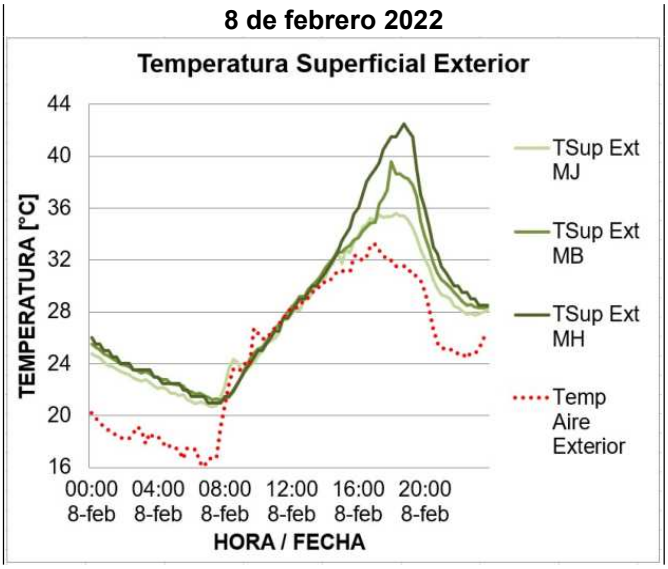


Figura 8 – Diferencial hora a hora de temperatura superficial exterior. Fuente: elaboración propia.

4.4. Temperatura superficial interior

Las temperaturas superficiales interiores de los muros con FVT fueron analizadas en forma comparativa. Se monitorea una máxima diferencia de 1,2 °C a las 8:45 pm, dada entre MJ y MB respecto a MH. Ver Fig. 9. Distinto a lo que ocurre con las temperaturas exteriores, la máxima diferencia ocurre desfasadas del horario de máxima demanda, dado este fenómeno por el efecto de inercia térmica del muro másico. Asimismo, queda de manifiesto la influencia del espesor promedio en esta variable, semejante entre MJ y MB, dado que en un muro másico las trasferencias de calor no son lineales.

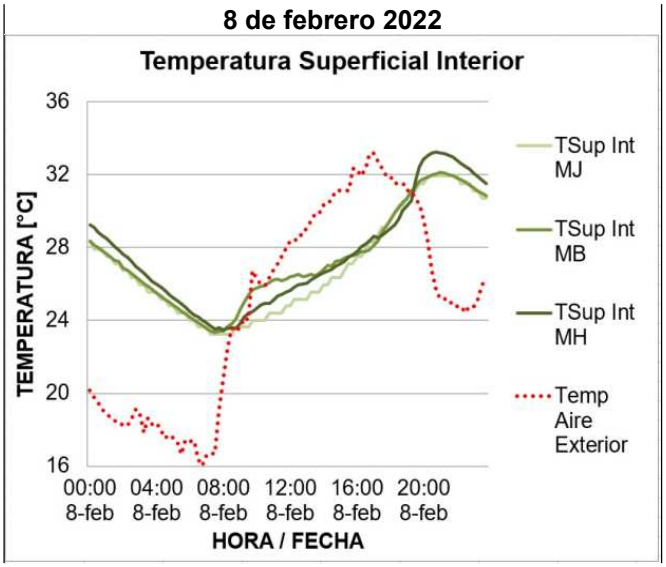


Figura 9 – Diferencial hora a hora de temperatura superficial interior. Fuente: elaboración propia.

4.5. Temperatura ambiente interior

Las temperaturas ambiente interiores de los muros con FVT fueron comparadas a fin de verificar diferencias de impactos, por el uso de distintas especies vegetales, en espacios interiores. Se determina una máxima diferencia de 1,3 °C a las 8:30 pm, dada entre MJ y MH. Ver Fig. 10. Del mismo modo que en el análisis de las temperaturas superficiales interiores, las máximas diferencias están desfasadas del horario de máxima demanda, como consecuencia del efecto de retardo producido por el muro de mampostería. Estas magnitudes evidencian beneficios de la correcta elección de la especie vegetal sobre el confort de los espacios interiores, con la consecuente reducción en la demanda de energía para alcanzar condiciones de confort en estos espacios.

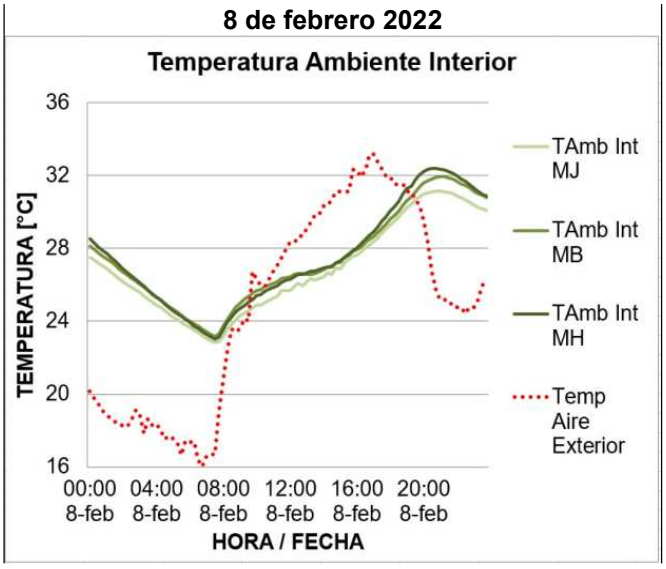


Figura 10 – Diferencial hora a hora de temperatura ambiente interior. Fuente: elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

El presente estudio evalúa experimentalmente la respuesta térmica estacional de tres FVT, conformadas por las especies perennes Jazmín, Bignonia y Madreselva, en muros másicos de orientación oeste y en climas de condición árida. Los resultados obtenidos evidencian la importancia en la elección de la especie trepadora para para elevar el potencial que tiene la estrategia para reducir temperaturas edilicias y urbanas en verano. En este sentido, el trabajo representa una contribución al estado del arte, de modo particular en lo que refiere monitoreo de las prestaciones térmicas de diversas FVT, en forma comparativa, en la estación cálida. Esta caracterización cuantitativa del impacto de la selección de la especie es poco explorada en la literatura internacional.

Las diferencias encontradas entre las tres FVT en espacios exteriores, se observan en el análisis de la temperatura ambiente exterior mediata, donde las estructuras MJ y MB se encuentran más frescas durante la mayor parte de las horas del día, con una máxima diferencia de 2,7 °C. Este fenómeno puede deberse a un mayor efecto de evapotranspiración del follaje de las especies MJ y MB. La diferencia en las temperaturas exteriores mediatas de cada especie evaluada tiene incidencia en la mitigación del calentamiento urbano, por lo que una correcta elección de especie vegetal puede contribuir a mejorar, en mayor medida, las condiciones de confort en espacios abiertos públicos y privados.

En cuanto a los análisis térmicos superficiales de la envolvente másica evaluada, se observa una máxima diferencia de temperatura superficial exterior de 7,1 °C, donde MJ se encuentra más fresca que MH, y una máxima diferencia de temperatura superficial interior de 1,2 °C, donde MJ y MB están más frías que MH. Estas diferencias se explican por las variaciones en el espesor vegetal de las especies, que alcanzan un valor de 60% de diferencia entre el promedio de los puntos medidos a lo largo de todo el desarrollo de la planta.

Estudiando comparativamente la temperatura ambiente interior en la cámara de aire de las tres estructuras con distintas especies trepadoras, ven reflejadas diferencias que alcanzan un valor máximo de 1,3 °C, en donde MJ se encuentra más fresca que MH. Esto pone de manifiesto que, además de los efectos de sombreo y evapotranspiración propios de la estrategia de FVT, las características de la planta tienen incidencia sobre la magnitud del beneficio térmico que se ve reflejado en los espacios interiores. Por lo tanto, la profundización en el estudio sobre la correcta selección de especies trepadoras implica mejoras en confort térmico del ambiente construido en verano, y contribuye a una menor demanda del recurso energético en ciudades de clima árido.

Para futuras etapas, se prevé potenciar el análisis asociado al uso de diferentes especies vegetales considerando características ópticas, de consumo de agua y de transferencia de calor a través de la masa foliar. De esta forma, se podrá caracterizar el comportamiento de estas especies frente a la condición climática particular de la región de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALEXANDRI, E.; JONES, P. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. **Building and Environment**, 43(4), 480–493. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055, 2008.

BUSTAMI, R. A.; BELUSKO, M.; WARD, J.; BEECHAM, S. Vertical greenery systems : A systematic review of research trends. **Building and Environment**, 146, 226–237. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.045, 2018.

COMA, J.; PÉREZ, G.; DE GRACIA, A.; BURÉS, S.; URRESTARAZU, M.; CABEZA, L. F. Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green facades. **Building and Environment**, 111, 228–237. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.014, 2017.

KALANI C.; CHEUK L.; GUO L. Selection of suitable plant species for energy efficient Vertical Greenery Systems (VGS). **Energy Procedia**, 142, 2473–2478. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.185, 2017.

GILL, S. E.; HANDLEY, J. F.; ENNOS, A. R.; PAULEIT, S. Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. **Built Environment**, 33(1), 115–133. https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115, 2007.

GONZÁLEZ, L. E. Q.; GONZÁLEZ, J. R. Q. Living green infrastructures: Typological characteristics, benefits and implementation. **Cuadernos de Vivienda y Urbanismo**, 12(23). https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu12-23.ivvc, 2019.

OTHMAN, A. R.; SAHIDIN, N. Vertical Greening Façade as Passive Approach in Sustainable Design. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 222, 845–854. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.185, 2016.

PÉREZ, G.; COMA, J.; SOL, S.; CABEZA, L. F. Green facade for energy savings in buildings : The influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect. **Applied Energy**, 187, 424–437. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.055, 2017.

STOCCO, S.; CANTÓN, M. A.; CORREA, É. Espacios verdes en ciudades de zona árida diagnóstico de la situación actual de plazas de la ciudad de Mendoza, Argentina. **Cuaderno Urbano**, n. 23, pp. 61–84. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30972/crn.23232689, 2017.

SUÁREZ, P.; CANTÓN, M. A.; CORREA, É. Impacto de sistemas de enverdecimiento vertical en el comportamiento termo-energético de espacios urbano-edilicios. Análisis crítico del estado del arte. **Acta de La XLI Reunión de Trabajo de La Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente**, 6(1), 83–94, 2018.

VOX, G.; BLANCO, I.; SCHETTINI, E. Green façades to control wall surface temperature in buildings. **Building and Environment**, 129, 154–166. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.002, 2018.